



#4  
7.14.03  
RW

Attorney Docket No. 05788.0165  
Customer Number 22,852

**IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE**

In re Application of: )  
 )  
Marco NASSI et al. ) Group Art Unit: 1751  
 )  
Serial No.: 09/886,043 ) Examiner:  
 )  
Filed: June 22, 2001 )  
 )  
For: ELECTRICAL POWER )  
TRANSMISSION SYSTEM USING )  
SUPERCONDUCTORS )

**Assistant Commissioner for Patents  
Washington, DC 20231**

**BOX: MISSING PARTS**

Sir:

**CLAIM FOR PRIORITY**

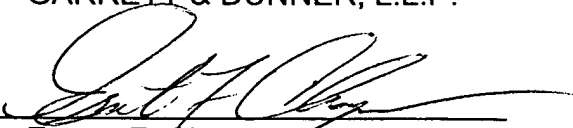
Under the provisions of 35 U.S.C. § 119, Applicants hereby claim the benefit of European Patent Application No. 98124699.4, filed December 24, 1998, for the above-identified U.S. patent application.

In support of this claim for priority, enclosed is one certified copy of the priority application.

Respectfully submitted,

FINNEGAN, HENDERSON, FARABOW,  
GARRETT & DUNNER, L.L.P.

Dated: October 11, 2001

By:   
Ernest F. Chapman  
Reg. No. 25,961

EFC/FPD/peg  
Enclosures



Europäisches  
Patentamt

European  
Patent Office

Office européen  
des brevets



Bescheinigung

Certificate

Attestation

Die angehefteten Unterlagen stimmen mit der ursprünglich eingereichten Fassung der auf dem nächsten Blatt bezeichneten europäischen Patentanmeldung überein.

The attached documents are exact copies of the European patent application described on the following page, as originally filed.

Les documents fixés à cette attestation sont conformes à la version initialement déposée de la demande de brevet européen spécifiée à la page suivante.

Patentanmeldung Nr. Patent application No. Demande de brevet n°

98124699.4

Der Präsident des Europäischen Patentamts;  
Im Auftrag

For the President of the European Patent Office

Le Président de l'Office européen des brevets  
p.o.

I.L.C. HATTEN-HECKMAN

DEN HAAG, DEN  
THE HAGUE,  
LA HAYE, LE

14/06/01



**Blatt 2 der Bescheinigung**  
**Sheet 2 of the certificate**  
**Page 2 de l'attestation**

Anmeldung Nr.:  
Application no.:  
Demande n°: 98124699.4

Anmeldetag:  
Date of filing: 24/12/98 ✓  
Date de dépôt:

Anmelder:  
Applicant(s):  
Demandeur(s):  
PIRELLI CAVI E SISTEMI S.p.A.  
20126 Milano  
ITALY

Bezeichnung der Erfindung:  
Title of the invention:  
Titre de l'invention:  
Electrical power transmission system using superconductors

In Anspruch genommene Priorität(en) / Priority(ies) claimed / Priorité(s) revendiquée(s)

Staat:  
State:  
Pays:

Tag:  
Date:  
Date:

Aktenzeichen:  
File no.  
Numéro de dépôt:

Internationale Patentklassifikation:  
International Patent classification:  
Classification internationale des brevets:

H01B12/00

Am Anmeldetag benannte Vertragsstaaten:  
Contracting states designated at date of filing: AT/BE/CH/CY/DE/DK/ES/FI/FR/GB/GR/IE/IT/LI/LU/MC/NL/PT/SE/TR  
Etats contractants désignés lors du dépôt:

Bemerkungen:  
Remarks:  
Remarques:

See for original title of the application  
page 1 of the description

## **"Sistema di trasmissione di energia elettrica mediante superconduttori"**

In un suo aspetto generale, la presente invenzione si riferisce ad un  
5 sistema di trasmissione di energia elettrica mediante superconduttori  
compatibile con sistemi di trasmissione convenzionali.

Come è noto, i superconduttori sono metalli, leghe, ossidi, e in generale  
composti che al di sotto di una temperatura normalmente riferita come  
temperatura critica presentano una caduta di resistività fino a valori  
10 praticamente nulli.

In particolare un superconduttore rimarrà tale solo al di sotto della sua  
temperatura critica, al di sotto di un campo magnetico critico, ed al di  
sotto di una densità di corrente critica.

I materiali superconduttivi possono essere del tipo a bassa temperatura,  
15 generalmente metalli come ad esempio leghe di niobio-titanio, o del tipo  
ad alta temperatura, generalmente ceramiche come ad esempio a base  
di ossidi di bismuto, stronzio, calcio, rame (BSCCO) oppure ossidi di  
ittrio, bario, rame (YBCO).

Si veda a titolo d'esempio, per uno di tali materiali e per la sua  
20 preparazione, quanto descritto nel brevetto Europeo della stessa  
Richiedente EP 646 974.

Nel campo dei superconduttori ed ai fini della presente descrizione, per  
materiali superconduttivi a bassa temperatura si intendono materiali  
aventi una temperatura di funzionamento dell'ordine di 4°K (-269°C  
25 circa), e per materiali superconduttivi ad alta temperatura si intendono  
materiali aventi una temperatura di funzionamento dell'ordine di 70 -  
77°K (-203/-196°C circa).

Tali superconduttori per funzionare a tali temperature vengono  
raffreddati con opportuni fluidi refrigeranti come elio liquido per le basse  
30 temperature e azoto liquido per le alte temperature.

Ai fini della presente descrizione, per cavo convenzionale si intende un

cavo non superconduttore impiegante elementi conduttori elettrici a resistenza non nulla, in particolare un cavo che possieda almeno una significativa porzione con caratteristiche di resistenza elettrica non nulla.

Una rete di trasmissione o di distribuzione di energia elettrica  
5 comprende, in generale, un insieme di linee di collegamento, realizzate tramite cavi o linee aeree, connesse in differenti modi (a carico terminale, ad anello, a maglie) ed atte al trasporto di energia tra unità connesse a nodi di interconnessione (delle linee di collegamento della rete) o a nodi terminali della rete stessa, quali sottostazioni alimentate  
10 da centrali elettriche, cabine di trasformazione e carichi di utenza.

Può accadere che nelle reti di trasmissione vi siano delle sovracorrenti, ovvero quelle correnti di valore superiore a quello di esercizio, che si verificano in caso di guasti e soprattutto in caso di corto-circuito delle apparecchiature ed in particolare delle linee. Queste sovracorrenti  
15 possono causare sui cavi, oltre che sforzi elettrodinamici tali da danneggiare parti non fortemente ancorate alle strutture anche una sopraelevazione di temperatura, che se persistente, può produrre bruciatura di isolanti e incendio di materiali combustibili vicini agli isolanti (ad esempio, olio dei trasformatori).

20 Per la protezione dalle sovracorrenti, nel caso di impianti con reti convenzionali, sono impiegati interruttori automatici che, per mezzo di un dispositivo di sgancio-aggancio automatico, aprono il circuito in corrispondenza di un valore dell'intensità di corrente pari ad un valore di taratura e richiudono il circuito quando termina la sovracorrente.

25 Per la protezione di tali interruttori o di altre apparecchiature presenti in un impianto, quali trasformatori, è possibile, fra l'altro, l'utilizzo di dispositivi limitatori di corrente che, possono essere di tipo induttivo o resistivo.

Il limitatore di corrente, installato in serie all'apparecchiatura da  
30 proteggere, mentre durante il funzionamento normale presenta una bassa impedenza, al verificarsi di sovracorrenti nella rete aumenta la

propria Impedenza in modo da limitare la corrente al di sotto di un valore di soglia tale da non danneggiare l'interruttore o il trasformatore. Sono noti limitatori di sovracorrenti, comprendenti induttanze, che sfruttano le caratteristiche di superconduttività dei materiali. In condizioni normali, tali limitatori, o parte di essi, sono in uno stato di superconduzione e sono strutturati in modo da presentare una bassa Impedenza. In presenza di sovracorrenti escono dallo stato di superconduzione ed si comportano in modo da presentare una impedenza elevata.

10 Limitatori di questo tipo sono descritti ad esempio nei brevetti US 5 140 290, US 5 546 261 e EP 336 337

Il libro dal titolo "Impianti elettrici", di Filippo Tiberio, Società Editrice Vanini, Brescia 1953, descrive, per le reti convenzionali non superconduttrici, l'uso bobine di reattanza che si inseriscono o sulle sbarre (In serie fra due tratti di sbarra) o sulle linee (cioè fra le sbarre e le linee uscenti dalla centrale).

La Richiedente ha osservato che le Installazioni di cavi superconduttori sono tipicamente destinate ad avvenire all'interno di una rete convenzionale, ad esempio con la sostituzione, tra due nodi della rete, di un cavo convenzionale con un cavo superconduttore o l'inserimento di un nuovo tratto.

La Richiedente ha osservato che nella tecnica nota non è stato affrontato il problema della compatibilità tra sistemi di trasmissione mediante superconduttori e i sistemi di trasmissione mediante conduttori convenzionali.

In particolare la Richiedente ha affrontato, il problema del comportamento dei sistemi di trasmissione utilizzando cavi superconduttori coassiali all'interno di una rete convenzionale in caso di cortocircuito.

30 La Richiedente ha notato che l'introduzione di un cavo superconduttore coassiale in una rete potrebbe portare ad un incremento del valore di

corrente di corto circuito in quel ramo a causa del minore valore dell'impedenza caratteristica del cavo superconduttore coassiale rispetto a quella di un cavo convenzionale.

5 Ha inoltre notato che la linea comprendente il cavo superconduttore coassiale, presentando un'impedenza caratteristica minore delle linee convenzionali, costituisce un percorso preferenziale per le correnti di corto circuito, coinvolgendo le linee ad essa vicine che potrebbero dover sopportare una maggiore quantità di corrente rispetto ad una linea convenzionale.

10 La bassa impedenza caratteristica dei cavi superconduttori coassiali è dovuta sia alla loro bassa resistenza, sia alla loro bassa reattanza. Quest'ultima grandezza è quella che pesa maggiormente sul valore assoluto dell'impedenza. La reattanza di un cavo superconduttore coassiale è bassa a causa della sua struttura coassiale, comprendente  
15 un superconduttore di fase ed un superconduttore di ritorno che trasporta in senso inverso rispetto al conduttore di fase una quantità di corrente equivalente a quella trasportata da quest'ultimo. Nei cavi convenzionali, non coassiali, invece, la reattanza è funzione delle caratteristiche geometriche del cavo ed anche della disposizione relativa  
20 di un cavo rispetto agli altri.

A questo punto la Richiedente ha affrontato il problema di garantire la compatibilità di un cavo superconduttore coassiale, in presenza di sovracorrenti, con l'intera rete.

La Richiedente ha inoltre osservato che i corto circuiti creano problemi  
25 al cavi superconduttori. In particolare ha osservato che in caso di corto circuito il superconduttore transisce dallo stato di superconduzione allo stato di normale conduzione o resistivo; in questo stato aumenta considerevolmente l'emissione di calore per effetto Joule, vi è quindi un aumento di temperatura del cavo con una potenziale evaporazione del  
30 liquido refrigerante. Al ripristino delle condizioni di lavoro normali, cioè al termine del corto circuito, il superconduttore deve tornare alla

temperatura di funzionamento nominale, cioè deve raffreddarsi, per ritornare allo stato di superconduzione. Questo vale a dire che il cavo a superconduttore non può funzionare correttamente istantaneamente al ripristino del corto circuito, ma è necessario attendere che esso si  
5 raffreddi e torni nello stato di superconduzione.

La Richiedente, in vista dei problemi sopra menzionati in una rete che utilizza cavi convenzionali e cavi superconduttori coassiali, ha percepito che i problemi potevano essere risolti o comunque ridotti rendendo il comportamento elettrico delle linee a superconduttori coassiali in  
10 presenza delle sovracorrenti sostanzialmente equivalente a quello di analoghe linee impieganti cavi convenzionali.

Più in dettaglio, la Richiedente ha percepito che la grandezza elettrica della linea superconduttrice maggiormente rilevante per i problemi prima esposti è la reattanza induttiva dei cavi che la costituiscono, la  
15 quale risulta sensibilmente inferiore per i cavi superconduttori coassiali rispetto ai cavi convenzionali.

Ancora più in particolare la Richiedente ha trovato che una soluzione ai problemi riportati si ottiene innalzando il valore della reattanza induttiva del cavo superconduttore coassiale sino ad un valore pari o prossimo a  
20 quello di un cavo convenzionale nelle stesse condizioni operative.

Una forma realizzativa secondo la presente invenzione, comprende di porre in serie al cavo superconduttore coassiale un elemento induttivo avente un valore di reattanza tale da rendere il valore di reattanza complessivo (cavo e induttore) pari o prossimo a quella di un cavo  
25 convenzionale relativo allo stesso collegamento.

La Richiedente ha trovato che questa soluzione consente di ottenere una completa compatibilità della linea superconduttrice con una rete convenzionale.

Secondo un altro aspetto della presente invenzione la Richiedente ha  
30 inoltre trovato che per evitare il sovrariscaldamento del cavo superconduttore quando, in presenza di sovracorrenti, il



superconduttore transisce dallo stato di superconduzione allo stato di normale conduzione, esso debba essere dotato di un ulteriore percorso per la corrente, in parallelo al cavo superconduttore.

Inoltre la Richiedente ha notato che, applicando gli insegnamenti  
5 dell'invenzione, non risulta necessario dotare la rete comprendente linee superconduttrici di dispositivi di protezione diversi (cioè in grado di sopportare e bloccare correnti più elevate) rispetto a quelli utilizzati per la analoga rete comprendente linee convenzionali.

In un suo primo aspetto la presente invenzione si riferisce ad una rete  
10 di trasmissione di energia elettrica comprendente:

nodi di interconnessione della rete e linee di collegamento tra detti nodi;  
un cavo superconduttore coassiale a cui è associata una prima  
reattanza, connesso tra due nodi di detta rete;  
caratterizzata dal fatto di comprendere ulteriormente almeno un  
15 elemento induttivo, a cui è associata una seconda reattanza, connesso in serie a detto cavo superconduttore coassiale.

Preferibilmente, la somma di detta prima reattanza e detta seconda  
reattanza è sostanzialmente pari ad una terza reattanza di valore  
sostanzialmente pari alla reattanza di un cavo convenzionale adatto a  
20 tale collegamento.

In particolare detto almeno un induttore comprende un cavo  
superconduttore, inoltre può comprendere un nucleo.

Detto almeno un induttore è posto ad una estremità di detto cavo  
superconduttore coassiale, o alternativamente comprende due parti  
25 poste una ad una estremità di detto cavo superconduttore e l'altra alla estremità opposta.

In una forma di realizzazione detto cavo superconduttore coassiale è  
multifase, e comprende almeno un induttore connesso in serie ad ogni  
fase di detto cavo superconduttore coassiale.

30 In una forma vantaggiosa detto cavo superconduttore coassiale  
comprende un supporto di materiale conduttore e, in una forma

alternativa un supporto di materiale composito.

In un suo secondo aspetto la presente invenzione si riferisce a un metodo per l'installazione in un sistema di trasmissione di energia elettrica di un collegamento con cavo superconduttore coassiale

5 caratterizzato dal fatto di comprendere le seguenti fasi:

- determinare la reattanza di un cavo convenzionale adatto per detto collegamento;

- installare detto cavo superconduttore coassiale avente una reattanza prefissata;

10 - aumentare la reattanza di detto cavo superconduttore coassiale, in modo che detta reattanza di detto cavo superconduttore sia sostanzialmente pari alla reattanza di detto cavo convenzionale.

In particolare, la fase di aumentare la reattanza di detto cavo superconduttore coassiale comprende la fase di inserire in serie a detto

15 cavo superconduttore coassiale un elemento induttivo, preferibilmente di materiale superconduttore.

Vantaggiosamente, secondo un altro aspetto della presente invenzione, il metodo comprende inoltre la fase di associare a detto cavo superconduttore coassiale un percorso conduttivo parallelo di resistenza

20 prefissata, in modo che la corrente di corto circuito si ripartisca tra detto cavo superconduttore e detto percorso conduttivo in modo che la temperatura massima raggiunta da detto cavo superconduttore coassiale sia inferiore alla temperatura minima tra la temperatura critica del materiale superconduttore e la temperatura di ebollizione del fluido

25 refrigerante alla minima pressione operativa del fluido.

In un suo terzo aspetto la presente invenzione si riferisce a un metodo per la sostituzione, in un sistema di trasmissione di energia elettrica, di un collegamento con cavo convenzionale con un collegamento con cavo superconduttore coassiale, comprendente le seguenti fasi:

30 - asportare detto cavo convenzionale;

- installare detto cavo superconduttore coassiale;

caratterizzato dal fatto di comprendere ulteriormente la fase di aumentare la reattanza di detto cavo superconduttore coassiale.

Preferibilmente, il metodo comprende ulteriormente la fase di:

- determinare la reattanza di detto cavo convenzionale;
- 5 - aumentare la reattanza di detto cavo superconduttore coassiale in modo che la reattanza di detto cavo superconduttore coassiale sia sostanzialmente pari alla reattanza di detto cavo convenzionale.

In particolare la fase di aumentare la reattanza di detto cavo superconduttore coassiale comprende la fase di inserire in serie a detto  
10 cavo superconduttore coassiale una induttanza, preferibilmente di materiale superconduttore.

Vantaggiosamente, il metodo comprende inoltre la fase di associare a detto cavo superconduttore coassiale un percorso conduttivo parallelo in modo che la temperatura massima raggiunta da detto cavo  
15 superconduttore coassiale sia inferiore alla temperatura minima tra la temperatura critica del materiale superconduttore e a temperatura di ebollizione del fluido refrigerante alla minima pressione operativa del fluido.

In un suo quarto aspetto la presente invenzione si riferisce ad un  
20 terminale isolato termicamente, per il collegamento fra un cavo multifase e un impianto elettrico a temperatura ambiente, detto cavo comprendendo almeno, per ciascuna fase, una unità coassiale avente un superconduttore di fase, un superconduttore coassiale di ritorno ed uno strato di isolamento elettrico interposto, ed inoltre mezzi di controllo  
25 termico per mantenere detti superconduttori di ciascuna di dette unità coassiali allo stato superconduttivo,

detto terminale essendo caratterizzato dal fatto di comprendere un induttore connesso in serie a ciascun superconduttore di fase.

Preferibilmente, il terminale comprende:

- 30 - almeno un involucro,
- mezzi di refrigerazione,

– un passante di corrente in tensione per ciascun superconduttore di fase, avente un relativo connettore di fase per il collegamento a detto impianto a temperatura ambiente,

detto passante di corrente essendo provvisto di un conduttore resistivo  
5 fra il superconduttore di fase e detto connettore del passante di corrente, le zone di collegamento fra detti conduttori resistivi e detti superconduttori di fase essendo disposte all'interno dell'involucro.

Preferibilmente, il terminale comprende:

– un unico passante di corrente di ritorno provvisto con un unico  
10 conduttore resistivo di ritorno, con estremo superiore collegato ad un connettore di ritorno per il collegamento all'impianto a temperatura ambiente;

– mezzi di collegamento in materiale superconduttore fra detti  
15 superconduttori di ritorno e detto unico conduttore resistivo di ritorno, la zona di giunzione fra detti mezzi di collegamento in materiale superconduttore e detto unico conduttore resistivo di ritorno, e almeno detti mezzi di collegamento fra i superconduttori di ritorno e detto unico conduttore resistivo essendo interni all'involucro e ad una temperatura inferiore a quella critica corrispondente allo stato superconduttivo per la  
20 presenza di detti mezzi di refrigerazione.

La presente invenzione sarà meglio compresa con l'aiuto della descrizione che segue e delle figure allegate, di esempi di realizzazione della presente invenzione delle quali:

- la figura 1 illustra un cavo trifase superconduttivo;
- 25 la figura 2 rappresenta un terminale di collegamento per tre cavi coassiali superconduttori;

la figura 3 rappresenta schematicamente una linea di distribuzione secondo un esempio di realizzazione dell'invenzione;

- la figura 4 rappresenta il terminale di figura 2 secondo un esempio di  
30 realizzazione dell'invenzione;

la figura 5 rappresenta schematicamente una linea di trasmissione

radiale.

Con riferimento alla figura 1, un esempio di cavo superconduttore trifase 1 secondo la presente invenzione comprende tre elementi conduttori C indicati rispettivamente con  $C_1$ ,  $C_2$ ,  $C_3$ , uno per ciascuna  
5 delle fasi, alloggiati preferibilmente in modo lasco all'interno di un involucro tubolare 8 di contenimento, ad esempio in materiale metallico, come acciaio, alluminio e simili.

Ciascuno degli elementi conduttori C comprende a sua volta una coppia di conduttori coassiali, rispettivamente di fase 2 e di ritorno 4, includenti  
10 ciascuno almeno uno strato di materiale superconduttore.

I conduttori coassiali di fase 2 e di ritorno 4 sono elettricamente isolati tra loro, mediante interposizione di uno strato 3 di materiale dielettrico.

Nell'esempio illustrato, il materiale superconduttore è incorporato in una pluralità di nastri sovrapposti, avvolti rispettivamente su un elemento  
15 tubolare di supporto 5 e sull'isolante elettrico 3.

Il cavo 1 comprende inoltre appropriati mezzi per raffreddare i conduttori superconduttori 2 e 4 ad una temperatura adeguatamente inferiore alla temperatura critica del materiale superconduttore  
20 prescelto, che nel cavo di figura 1 è del tipo cosiddetto "ad alta temperatura".

I suddetti mezzi comprendono adeguati mezzi di pompaggio, di per sé noti e quindi non rappresentati, destinati ad alimentare un appropriato fluido refrigerante, ad esempio azoto liquido ad una temperatura  
tipicamente compresa tra  $65^\circ$  e  $90^\circ\text{K}$ , sia all'interno F1 di ciascuno degli  
25 elementi conduttori C, sia negli interstizi F2 tra tali elementi e l'involucro tubolare 8.

All'esterno del conduttore di ritorno 4 vi è un elemento metallico 6 di protezione per il corto circuito e quindi una protezione meccanica 7.

Allo scopo di ridurre al minimo le dispersioni termiche verso l'ambiente  
30 esterno, il superconduttore è racchiuso entro una struttura di contenimento, o criostato, comprendente un isolante termico, formato,

ad esempio, da una pluralità di strati sovrapposti di materiale isolante, ed almeno una guaina di protezione.

Un criostato, noto nell'arte, è descritto ad esempio in un articolo di IEEE TRANSACTIONS ON POWER DELIVERY, vol. 7, no. 4, Ottobre 1992, pagg. 1745-1753.

Più in particolare, nell'esempio illustrato, il criostato comprende uno strato 9 di materiale isolante, costituito, ad esempio, da più nastri (alcune decine) in materiale plastico (ad esempio resina poliestere) metallizzati superficialmente, noti nel campo come "superisolante termico", avvolti in modo lasco, con l'eventuale ausilio di elementi distanziatori interposti (non mostrati).

Tali nastri sono alloggiati in una intercapedine anulare delimitata dall'involucro 8 e da un elemento tubolare 10, nella quale viene mantenuto, con apparecchiature di per sé note, un vuoto dell'ordine di  $10^{-2}$  N/m<sup>2</sup>.

L'elemento tubolare 10, metallico, è atto a conferire la desiderata impermeabilità alla intercapedine anulare, ed è rivestito da una guaina esterna 11, ad esempio in polietilene.

L'elemento tubolare metallico 10 è preferibilmente formato da un nastro incurvato in forma tubolare e saldato longitudinalmente, in acciaio, rame, alluminio o simili, ovvero da un tubo estruso o simili.

Ove le esigenze di flessibilità del cavo lo richiedano, l'elemento 10 può essere corrugato.

In una forma di realizzazione, il materiale superconduttivo del cavo è formato da nastri a base di superconduttori cosiddetti ad alta temperatura di tipo ceramico.

Più in particolare, in tale realizzazione i nastri di superconduttori sono avvolti attorno al supporto cilindrico tubolare 5, avente un diametro di 15 - 80 mm, ed attorno all'isolante elettrico 3, con angoli di avvolgimento, rispetto alla direzione del cavo, costanti o variabili tra nastro e nastro ed all'interno di ciascun nastro, tipicamente compresi fra

10° e 60°.

I nastri superconduttori ad alta temperatura comprendono, all'interno di un involucro in argento, o simile lega metallica, materiali superconduttori fra i quali possono essere convenientemente impiegati

5 quelli denominati nel settore con la sigla BSCCO, di formula:



dove:

$\alpha$  è un numero compreso fra 1,4 e 2,0;  $\beta$  è un numero compreso fra 0 e 0,6;  $\gamma$  è un numero compreso fra 1,5 e 2,5;  $\delta$  è un numero  
10 compreso fra 0 e 2,5;  $\epsilon$  è un numero compreso fra 1,0 e 4,0;  $x$  è il valore stechiometrico corrispondente ai diversi ossidi presenti.

In accordo alla presente invenzione, nel caso in cui si voglia ottenere un veloce, se non istantaneo, tempo di ripristino del cavo superconduttore dopo un corto circuito, o in altre parole un tempo di ripristino che faccia  
15 in modo che l'innalzamento della temperatura del cavo superconduttore sia limitato, tale supporto cilindrico tubolare 5 e lo strato di protezione 6 sono preferibilmente costituiti da materiale conduttore, ad esempio rame o alluminio di dimensioni opportune. Gli elementi 5 e 6 sono associati ai nastri del cavo superconduttore in modo da avere una  
20 connessione elettrica tra di essi. In questo modo, in caso di sovracorrente, il superconduttore passa nello stato resistivo, e la sovracorrente fluisce nel percorso conduttivo parallelo al cavo superconduttore formato dai metalli degli elementi 5 e 6. La quantità di materiale metallico conduttivo degli elementi 5 e 6 è tale che la  
25 temperatura massima raggiunta dal cavo superconduttore è inferiore, con un predeterminato margine di sicurezza, alla temperatura minima tra la temperatura critica del materiale superconduttore e la temperatura di ebollizione del fluido refrigerante (azoto) alla minima pressione operativa del fluido.

30 Preferibilmente i nastri superconduttori comprendono almeno una lamina di rinforzo (non illustrata) di materiale metallico (acciaio

inossidabile, bronzo, berillio, alluminio) accoppiata al rivestimento metallico dei nastri stessi. La presenza di tale lamina di rinforzo consente di aumentare la resistenza del cavo alle varie sollecitazioni, meccaniche o termiche, ad esso impartite durante l'installazione o l'impiego.

In accordo ad una ulteriore forma di realizzazione della presente invenzione, il supporto 5 è di tipo composito e comprende una pluralità di settori anulari adiacenti di materiale metallico e di materia plastica (ad esempio Teflon). Tale elemento 5 presenta in questo modo un coefficiente di dilatazione termica superiore a quello del materiale superconduttore ed è quindi in grado di contrarsi in misura maggiore del materiale superconduttore durante la fase di raffreddamento del cavo, senza indurre sforzi all'interno del materiale superconduttore interferendo con esso.

Il numero dei settori metallici e di materia plastica e la disposizione di tali settori possono essere determinati da un tecnico del ramo in base alle esigenze costruttive del cavo.

Vantaggiosamente, in questo modo, il supporto 5 esplica simultaneamente più funzioni. Una, è limitare le deformazioni longitudinali dello strato di materiale superconduttore dovute alle dilatazioni termiche impedito durante il raffreddamento del cavo superconduttore una volta installato (a temperatura ambiente). Una è supportare meccanicamente il materiale superconduttore, ed un'altra è ridurre gli sforzi esercitati dalle estremità del cavo superconduttore sui terminali del cavo, fornendo nello stesso tempo metallo sufficiente a stabilizzare il cavo durante il transitorio di corto circuito.

E' stato descritto, a titolo esemplificativo, un tipo di cavo superconduttore coassiale trifase, ma altri tipi di cavi possono essere utilizzati in accordo alla presente invenzione, ad esempio cavi mono-fase, cavi mono-elemento (cioè cavi separati per ogni fase); anche il criostato può essere strutturato in modo differente ad esempio con



l'isolamento elettrico posto a temperatura ambiente.

La connessione dei cavi superconduttori alle sottostazioni o alle cabine di trasformazione della rete di distribuzione o trasmissione avviene, in generale, per mezzo di terminali di collegamento quali, ad esempio,  
5 quelli descritti nella domanda di brevetto europea a nome della Richiedente EP 780926.

Un terminale di collegamento tra tre cavi coassiali monofase superconduttori raffreddati al di sotto della loro temperatura critica ed i corrispondenti terminali a temperatura ambiente, descritto in tale  
10 domanda di brevetto è mostrato in figura 2.

Il sistema di refrigerazione dei cavi e del terminale non viene qui descritto in quanto ben noto ai tecnici del ramo.

Principalmente il terminale comprende una zona fredda A al cui interno le parti del cavo sono mantenute al di sotto della sua temperatura  
15 critica di superconduttività, una zona di isolamento termico B disposta attorno alla zona A, una zona di controllo termico C, in cui si prevedono mezzi per contrastare la penetrazione di calore dall'esterno a temperatura ambiente verso la zona fredda del cavo.

La porzione inferiore di figura 2 evidenzia l'ingresso nel terminale di tre  
20 cavi coassiali, ciascuno monofase, appartenenti ad unico cavo 1.

Più precisamente, ciascun superconduttore di fase in tensione 102 si estende nella zona fredda ed è congiunto con un morsetto 108 ad un conduttore resistivo 109; a sua volta il conduttore 109 passa attraverso la zona di controllo termico C fino a collegarsi con un connettore 119  
25 dell'impianto elettrico a temperatura ambiente.

I tre superconduttori di ritorno 104, dall'ingresso nella zona fredda, sono collegati fra loro da mezzi di collegamento superconduttori 104' e, tramite un morsetto 108', si collegano con un unico passante formato da un conduttore resistivo 109' che si estende verso l'esterno come gli  
30 altri conduttori di fase tramite il connettore 120.

I mezzi di collegamento superconduttori comprendono un elemento

superconduttore realizzato sulla base della particolare disposizione della parte finale dei conduttori di ritorno.

Come si nota in figura 2, la zona fredda del terminale è delimitata da un involucro 111 in materiale metallico, al cui interno è immesso, attraverso un tubo di ingresso 112, un fluido refrigerante, preferibilmente azoto liquido ad una temperatura di circa -200 °C.

L'immissione di azoto liquido nell'involucro ad una determinata temperatura e il grado di isolamento termico attorno all'involucro sono controllati in modo tale che la zona fredda dell'involucro sia sempre ad una temperatura inferiore alla temperatura critica, cioè quella temperatura al di sopra della quale i superconduttori cesserebbero di comportarsi come tali.

La zona di isolamento termico attorno all'involucro è realizzata tramite un contenitore 113 che delimita uno spazio mantenuto sotto vuoto intorno all'involucro.

All'ingresso del contenitore e dell'involucro pervengono i tre cavi unipolari, ciascuno dei quali è mantenuto al di sotto della temperatura critica tramite azoto liquido con circolazione al suo interno evidenziata in figura dai tubi di ingresso e uscita 114 e 114'.

I conduttori 109 di fase e di ritorno 109' passano attraverso il coperchio dell'involucro e del contenitore rimanendo all'interno di isolatori 115 e 116 rispettivamente di alta e bassa tensione.

La superficie interna degli isolatori è sagomata nella porzione inferiore in forma tronco conica opposta e a distanza da un cono deflettore 117 attorno al superconduttore di fase allo scopo di effettuare il controllo del campo elettrico.

Si consideri ora un sistema di trasmissione/distribuzione di energia elettrica schematizzata a scopo illustrativo in figura 3.

Tale rete comprende una pluralità di cavi 20, 30, 40, 50, 60, 70 e 80 che si estendono tra un nodo 42, connesso ad un generatore 41, ed un nodo 43 che è collegato ad un generico carico 44.

I cavi 20, 30, 40, 50, 60, 70 e 80 si considerano costituiti da cavi convenzionali, non superconduttori, ai quali è associabile una impedenza caratteristica.

5 Si supponga ora di sostituire il cavo convenzionale 60 con un cavo superconduttore coassiale di pari lunghezza.

Tale cavo, per sua natura, presenta una impedenza caratteristica che è molto minore della impedenza del cavo convenzionale sostituito.

10 In caso di corto circuito, ad esempio nel caso in cui il nodo 43 sia posto al potenziale di terra, vi sarà un flusso di corrente (di corto circuito) tra il nodo 42 ed il nodo 43 passante per i conduttori della rete. A causa della diversa impedenza fra il cavo 60 (di impedenza praticamente nulla) ed i restanti cavi, la maggior parte della corrente fluirà nel cavo 60.

15 Ciò comporta un sovraccarico di corrente anche dei cavi collegati al cavo 60, in particolare vi sarà un notevole afflusso di corrente nei cavi 20 e 30, maggiore di quello raggiungibile nel caso in cui i cavi fossero tutti di tipo convenzionale, creando in questo modo possibili danni alla rete.

Una situazione analoga si avrebbe anche nel caso in cui venisse aggiunto un nuovo cavo superconduttore coassiale alla rete, ad esempio  
20 aggiungendo una tratta tra il generatore 41 ed il nodo 42.

Più in particolare è stato calcolato che se si realizzasse una rete magliata complessa (quale quella ad esempio necessaria per l'alimentazione di un grande centro urbano) con cavi superconduttori, si avrebbe un incremento della corrente di corto circuito fino al 70%  
25 rispetto al caso in cui tale rete venga realizzata con cavi convenzionali.

In accordo alla presente invenzione la Richiedente ha trovato che rendendo il comportamento elettrico delle linee a superconduttori coassiali, in presenza di sovracorrenti, sostanzialmente uguale a quello di analoghe linee impieganti cavi convenzionali tali problemi vengono  
30 risolti.

In particolare ha trovato che ponendo in serie al cavo superconduttore

coassiale un elemento induttivo avente un valore di reattanza tale da rendere il valore di reattanza complessivo (cavo e induttore) pari o prossimo (dello stesso ordine di grandezza) a quella di un cavo convenzionale relativo allo stesso collegamento, si ottiene il risultato di  
5 riportare il comportamento della rete nei confronti delle sovracorrenti alla situazione in cui la rete stessa è costituita da cavi tutti di tipo convenzionale.

In figura 4 è mostrata una realizzazione particolare di un terminale di collegamento in accordo con l'invenzione comprendente un terminale di  
10 collegamento analogo a quello precedentemente descritto con riferimento alla figura 2. In figura 4 si sono utilizzati i medesimi riferimenti numerici di figura 2 per indicare componenti dello stesso tipo.

Nella porzione inferiore di figura 4 è evidenziato l'ingresso nel terminale  
15 dei tre cavi coassiali appartenenti al cavo 1. I tre superconduttori di ritorno 104, dall'ingresso nella zona fredda A, sono collegati fra loro da mezzi di collegamento superconduttori 104' e, tramite un morsetto 108', si collegano con un unico passante formato dal conduttore resistivo 109' che si estende verso l'esterno tramite il connettore 120.

20 I tre superconduttori di fase 102, che si estendono all'interno dell'involucro 113', di dimensioni opportune, sono avvolti in modo da costituire tre bobine 122 di reattanza di valore determinato come precedentemente descritto.

Le tre bobine 122 devono essere preferibilmente disposte in modo da  
25 evitare induzioni reciproche.

Analogamente a quanto descritto con riferimento al terminale di figura 2, ciascun superconduttore di fase in tensione 102 si estende nella zona fredda A ed è congiunto con un morsetto 108 ad un conduttore resistivo 109; a sua volta il conduttore 109 passa attraverso la zona di controllo  
30 termico C fino a collegarsi con un connettore 119 dell'impianto elettrico a temperatura ambiente.

Le bobine di reattanza 122 sono preferibilmente poste all'interno del terminale, ma possono essere poste in un qualsiasi punto lungo il cavo superconduttore. Inoltre per problemi dimensionali o per altri svariati motivi le bobine di reattanza 122 possono essere ad esempio distribuite tra i due terminali (ad esempio dividendo la reattanza in due parti) e comunque possono essere divise in più parti e poste in più punti lungo il cavo superconduttore.

Viene di seguito riportato un esempio numerico di un metodo di dimensionamento di una linea di collegamento secondo l'invenzione.

10 In figura 5 è schematicamente rappresentato un generatore 41 connesso ad una rete 100. Una linea di connessione 90 connette la rete 100 ad un carico 44.

Il collegamento effettuato con la linea 90 presenta i seguenti parametri caratteristici:

15 Potenza  $P = 108$  MVA

Tensione  $V = 115$  kV

Frequenza  $f = 60$  Hz

Lunghezza  $L = 8$  km

Con tali parametri è possibile determinare, in modo noto al tecnico del ramo, in prima approssimazione, le caratteristiche del cavo adatto per tale collegamento.

Per cavo convenzionale adatto a tale collegamento si intende un cavo in grado effettuare la trasmissione di energia elettrica in un collegamento avente parametri caratteristici prefissati. Ad esempio, con i principali parametrici caratteristici di un collegamento, quali quelli sopra elencati e cioè potenza, tensione, frequenza e lunghezza è possibile, in prima approssimazione, determinare, con tecniche note, la sezione di cavo della terna trifase adatta per tale collegamento. Di conseguenza è possibile, con tecniche note, determinare la reattanza del singolo cavo.

30 Una possibile realizzazione del collegamento sopra definito con cavi convenzionali comprende l'utilizzo di una terna di cavi con sezione 500

mm<sup>2</sup> di rame.

In questo caso la reattanza induttiva del singolo cavo convenzionale, che dipende dal tipo di conduttore e dalla vicinanza degli altri conduttori, è pari a:

5  $X_{conv} = 0.16 \text{ ohm/km}$

Se ora si suppone che dalla rete esterna 100 arrivi al collegamento 90 una sollecitazione di corto circuito con valore pari a 5000 A, con metodi di calcolo noti all'esperto del ramo si valuta che al termine del collegamento 90, ovvero all'estremo prossimo al carico 44, si avrà una sovracorrente pari a circa 4190 A.

La linea di collegamento 90 prima definita se realizzata impiegando una terna di cavi superconduttori coassiali, comporta una reattanza induttiva del singolo cavo superconduttore pari a:

$$X_{sup} = 0.0264 \text{ ohm/km}$$

- 15 La Richiedente osserva come il valore di reattanza del cavo superconduttore coassiale sia considerevolmente inferiore a quella del cavo convenzionale e pari, nell'esempio riportato, a circa un sesto.

Se ora si suppone che dalla rete 100 esterna al collegamento 90, realizzato questa volta con cavi superconduttori coassiali, arrivi al  
20 collegamento stesso una sollecitazione di corto circuito sempre di valore pari a 5000 A, al termine del collegamento si avrà una sovracorrente pari a circa 4500 A con un incremento di circa il 7% rispetto al caso precedente.

In accordo alla presente invenzione, si realizza sul conduttore di ogni  
25 fase, dopo aver collegato fra loro a terra i tre superconduttori di ritorno dei cavi analogamente a quanto descritto con riferimento alla figura 4, un solenoide avente la seguente reattanza:

$$X_{add} = X_{conv} - X_{sup} = (0.16 - 0.0264) \text{ ohm/km} = 0.1336 \text{ ohm/km}$$

e quindi la seguente induttanza

30  $L_{add} = X_{add} / (2\pi f) = 0.354 \text{ mH/km}$

dove con

Xadd si intende la reattanza da inserire in serie alla singola fase per ogni km di collegamento;

Xconv si intende la reattanza del cavo convenzionale per ogni km di collegamento;

- 5 Xsup si intende la reattanza del cavo superconduttore coassiale per ogni km di collegamento;

Ladd si intende la induttanza da inserire in serie alla singola fase per ogni km di collegamento.

- 10 In tal modo si ottiene un effetto analogo a quello di un cavo convenzionale, e quindi di annullare l'incremento del valore di corto circuito sopracitato. Il collegamento 90 quindi, nei confronti del corto circuito, si comporta come se fosse realizzato con cavi convenzionali.

- 15 Un elemento induttivo avente  $L_{add} = 0.354 \text{ mH/km} \times 8 \text{ km} = 2.83 \text{ mH}$  è ad esempio ottenuto realizzando un solenoide con il conduttore di andata di ogni fase del cavo superconduttore. Caratteristiche di tale solenoide sono:

numero di spire = 26

raggio della spira = 1.5 m

altezza avvolgimento = 2 m

- 20 lunghezza del conduttore = 245 m

L'elemento induttivo addizionale, secondo una ulteriore attuazione dell'invenzione, può comprendere un solenoide dotato di un opportuno nucleo magnetico le cui caratteristiche diventano, ad esempio:

numero di spire = 1

- 25 raggio della spira = 0.5 m

altezza avvolgimento < 0.2 m

lunghezza del conduttore = 3.14 m

- 30 In questo esempio si è supposto di inserire in serie al cavo superconduttore coassiale una reattanza di valore pari alla differenza tra la reattanza di un cavo convenzionale e la reattanza del cavo superconduttore, in modo da avere sostanzialmente lo stesso valore di

reattanza per il cavo convenzionale, adatto per tale collegamento, ed il cavo superconduttore. Tuttavia è possibile inserire una reattanza di valore pari ad una frazione della reattanza suddetta (ad esempio pari alla metà) accettando, se i componenti del sistema lo consentono, il relativo incremento della corrente di corto circuito. Ad esempio se, nel collegamento precedentemente descritto si inserisce una reattanza di valore pari alla metà di quella del cavo convenzionale:

$$X_{add1} = (X_{conv} - X_{sup})/2 = (0.16 - 0.0264)/2 \text{ ohm/km} = 0.0668 \text{ ohm/km}$$

- 10 l'incremento della corrente di corto circuito è di circa il 4%.

E' anche possibile inserire in serie al cavo superconduttore coassiale una reattanza di valore tale da superare globalmente la reattanza di un cavo convenzionale in modo da avere un comportamento migliore rispetto a quello di un cavo convenzionale. In ogni caso, per rendere sostanzialmente compatibile un collegamento mediante cavi superconduttori coassiali ed un equivalente cavo convenzionale adatto per tale collegamento, la reattanza del cavo superconduttore deve essere aumentata, e preferibilmente deve essere dello stesso ordine di grandezza di quella del cavo convenzionale.

- 20 La Richiedente nota che l'elemento induttivo addizionale può essere posto preferibilmente ad una qualsiasi delle estremità del superconduttore di fase e preferibilmente nella zona del terminale, dove il cavo superconduttore si connette ai cavi convenzionali a temperatura ambiente.

- 25 Secondo una ulteriore realizzazione possono essere impiegati due elementi induttivi addizionali posti ad entrambe le estremità del superconduttore di fase con valore d'induttanza complessivo pari a quello determinato come precedentemente descritto.

- L'elemento induttivo suddetto può essere realizzato anche con un conduttore convenzionale (ad esempio di rame) posto in aria, a temperatura ambiente.
- 30



La Richiedente osserva che tuttavia l'invenzione risulta particolarmente vantaggiosa se tale elemento induttivo viene realizzato con lo stesso cavo superconduttore privato del conduttore di ritorno. Infatti in questo modo vengono molto ridotte le perdite resistive che si generano in tutta la lunghezza del conduttore utilizzato per la realizzazione del solenoide.

5 Nel caso in questione le perdite di un solenoide realizzato con conduttore di rame di sezione, ad esempio di  $500 \text{ mm}^2$ , sono dell'ordine di  $12 \text{ W/m/fase}$  mentre le perdite del solenoide realizzato con superconduttore sono dell'ordine di  $6 \text{ W/m/fase}$  (inclusa la efficienza di

10 refrigerazione.

Sia il cavo superconduttore che l'elemento induttivo addizionale inoltre possono convenientemente avere il supporto di tipo metallico o composito come precedentemente descritto.

## **RIVENDICAZIONI**

1. Rete di trasmissione di energia elettrica comprendente:
  - nodi di interconnessione della rete e linee di collegamento tra detti nodi;
- 5 - un cavo superconduttore coassiale a cui è associata una prima reattanza, connesso tra due nodi di detta rete;  
caratterizzata dal fatto di comprendere ulteriormente almeno un elemento induttivo, a cui è associata una seconda reattanza, connesso in serie a detto cavo superconduttore coassiale.
- 10 2. Rete in accordo alla rivendicazione 1 caratterizzata dal fatto che la somma di detta prima reattanza e detta seconda reattanza sia sostanzialmente pari ad una terza reattanza di valore sostanzialmente pari alla reattanza di un cavo convenzionale adatto a tale collegamento.
3. Rete in accordo alla rivendicazione 1 caratterizzata dal fatto che detto
- 15 almeno un elemento induttivo comprende un cavo superconduttore.
4. Rete in accordo alla rivendicazione 1 caratterizzata dal fatto che detto almeno un elemento induttivo comprende un nucleo.
5. Rete in accordo alla rivendicazione 1 caratterizzata dal fatto che detto almeno un elemento induttivo è posto ad una estremità di detto cavo
- 20 superconduttore coassiale.
6. Rete in accordo alla rivendicazione 1 caratterizzata dal fatto che detta almeno una induttanza comprende due parti di cui una è posta ad una estremità di detto cavo superconduttore e l'altra è posta alla estremità opposta.
- 25 7. Rete in accordo alla rivendicazione 1 caratterizzata dal fatto detto cavo superconduttore coassiale è multifase.
8. Rete in accordo alla rivendicazione 7 caratterizzata dal fatto di comprendere almeno un elemento induttivo connesso in serie ad ogni fase di detto cavo superconduttore coassiale.
- 30 9. Rete in accordo alla rivendicazione 1 caratterizzata dal fatto che detto cavo superconduttore coassiale comprende un supporto di materiale

conduttore.

10. Rete in accordo alla rivendicazione 1 caratterizzata dal fatto che detto cavo superconduttore coassiale comprende un supporto di materiale composito.

5 11. Metodo per l'installazione in un sistema di trasmissione di energia elettrica di un collegamento con cavo superconduttore coassiale caratterizzato dal fatto di comprendere le seguenti fasi:

- determinare la reattanza di un cavo convenzionale adatto per detto collegamento;

10 - installare detto cavo superconduttore coassiale avente una reattanza prefissata;

- aumentare la reattanza di detto cavo superconduttore coassiale, in modo che detta reattanza di detto cavo superconduttore sia sostanzialmente pari alla reattanza di detto cavo convenzionale.

15 12. Metodo in accordo alla rivendicazione 11 caratterizzato dal fatto che la fase di aumentare la reattanza di detto cavo superconduttore coassiale comprende la fase di inserire in serie a detto cavo superconduttore coassiale un elemento induttivo.

20 13. Metodo in accordo alla rivendicazione 12 caratterizzato dal fatto che detto elemento induttivo è superconduttore.

14. Metodo in accordo alla rivendicazione 11 caratterizzato dal fatto che comprende la fase di associare a detto cavo superconduttore coassiale un percorso conduttivo parallelo in modo che la temperatura massima raggiunta da detto cavo superconduttore coassiale sia inferiore alla  
25 temperatura minima tra la temperatura critica del materiale superconduttore e la temperatura di ebollizione del fluido refrigerante alla minima pressione operativa del fluido.

15. Metodo per la sostituzione, in un sistema di trasmissione di energia elettrica, di un collegamento con cavo convenzionale con un  
30 collegamento con cavo superconduttore coassiale comprendente le seguenti fasi:

- asportare detto cavo convenzionale;
  - installare detto cavo superconduttore coassiale;
- caratterizzato dal fatto di comprendere ulteriormente la fase di aumentare la reattanza di detto cavo superconduttore coassiale.

5 16. Metodo in accordo alla rivendicazione 15 caratterizzato dal fatto comprendere ulteriormente la fase di:

- determinare la reattanza di detto cavo convenzionale;
- aumentare la reattanza di detto cavo superconduttore coassiale in modo che la reattanza di detto cavo superconduttore coassiale sia sostanzialmente pari alla reattanza di detto cavo convenzionale.

10 17. Metodo in accordo alla rivendicazione 15 caratterizzato dal fatto che la fase di aumentare la reattanza di detto cavo superconduttore coassiale comprende la fase di inserire in serie a detto cavo superconduttore coassiale un elemento induttivo.

15 18. Metodo in accordo alla rivendicazione 17 caratterizzato dal fatto che detto elemento induttivo comprende superconduttori.

19. Metodo in accordo alla rivendicazione 15 caratterizzato dal fatto che comprende la fase di associare a detto cavo superconduttore coassiale un percorso conduttivo parallelo in modo che la temperatura massima raggiunta da detto cavo superconduttore coassiale è inferiore alla temperatura minima tra la temperatura critica del materiale superconduttore e a temperatura di ebollizione del fluido refrigerante alla minima pressione operativa del fluido.

20 20. Terminale isolato termicamente, per il collegamento fra un cavo polifase e un impianto elettrico a temperatura ambiente, detto cavo comprendendo almeno, per ciascuna fase, una unità coassiale avente un superconduttore di fase, uno strato di isolamento elettrico interposto ed un superconduttore coassiale di ritorno, ed inoltre mezzi di controllo termico per mantenere detti superconduttori di ciascuna di dette unità coassiali allo stato superconduttivo,

30 detto terminale essendo caratterizzato dal fatto di comprendere un

elemento induttivo connessa in serie a ciascun superconduttore di fase.

21. Terminale in accordo alla rivendicazione 20 caratterizzato dal fatto di comprendere:

– almeno un involucro,

5 – mezzi di refrigerazione,

– un passante di corrente in tensione per ciascun superconduttore di fase, avente un relativo connettore di fase per il collegamento a detto impianto a temperatura ambiente,

10 detto passante di corrente essendo provvisto di un conduttore resistivo fra il superconduttore di fase e detto connettore del passante di corrente, le zone di collegamento fra detti conduttori resistivi e detti superconduttori di fase essendo disposte all'interno dell'involucro.

22. Terminale in accordo alla rivendicazione 20 caratterizzato dal fatto di comprendere:

15 – un unico passante di corrente di ritorno provvisto con un unico conduttore resistivo di ritorno, con estremo superiore collegato ad un connettore di ritorno per il collegamento all'impianto a temperatura ambiente;

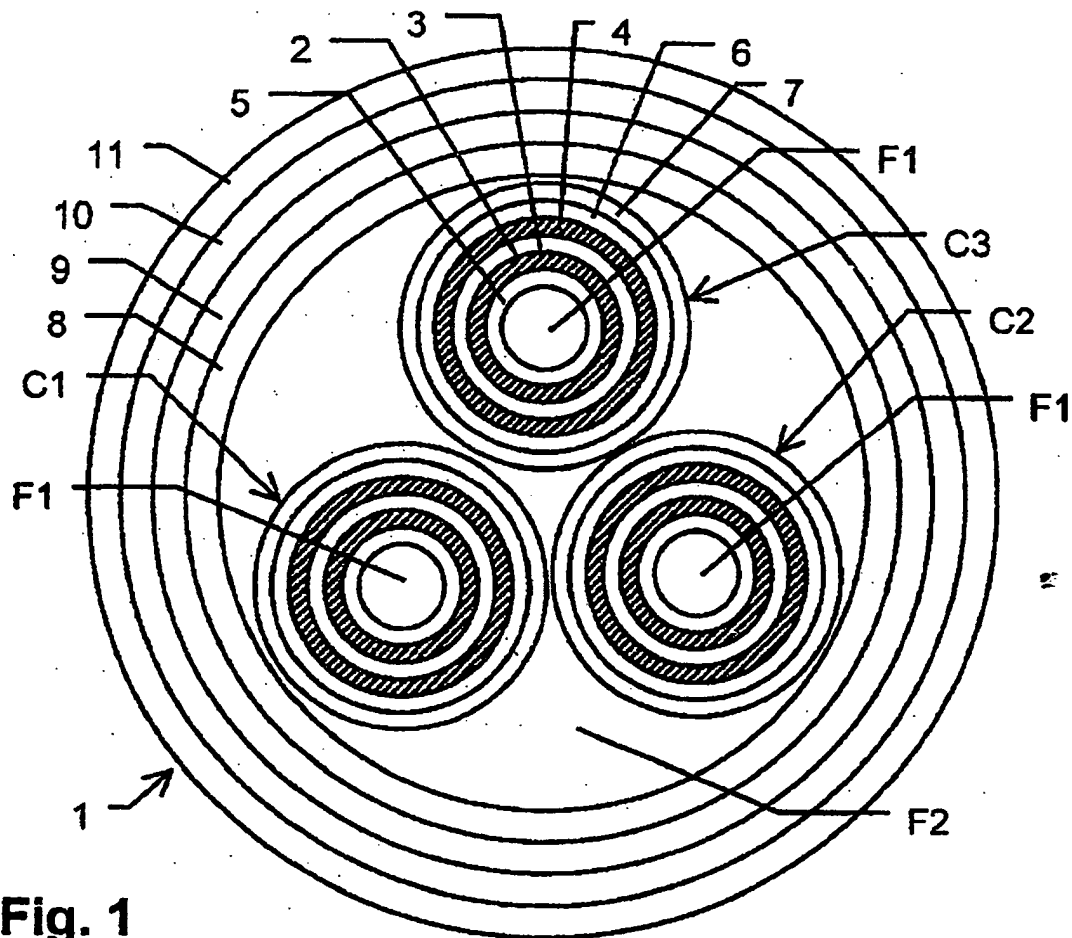
– mezzi di collegamento in materiale superconduttore fra detti  
20 superconduttori di ritorno e detto unico conduttore resistivo di ritorno, la zona di giunzione fra detti mezzi di collegamento in materiale superconduttore e detto unico conduttore resistivo di ritorno, e almeno detti mezzi di collegamento fra i superconduttori di ritorno e detto unico conduttore resistivo essendo interni all'involucro e ad una temperatura

25 inferiore a quella critica corrispondente allo stato superconduttivo per la presenza di detti mezzi di refrigerazione.

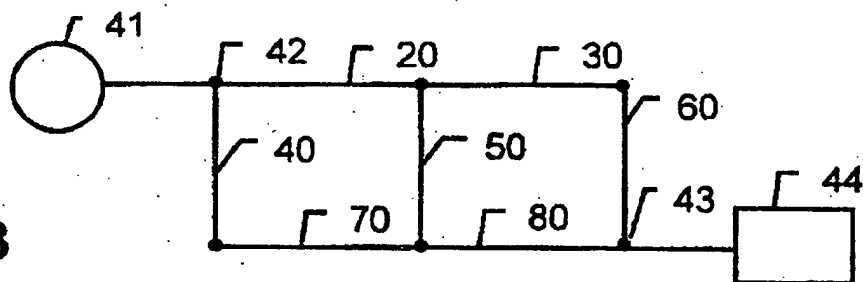
## **RIASSUNTO**

In un suo aspetto generale, la presente invenzione si riferisce ad un sistema di trasmissione di energia elettrica mediante superconduttori compatibile con sistemi di trasmissione convenzionali.

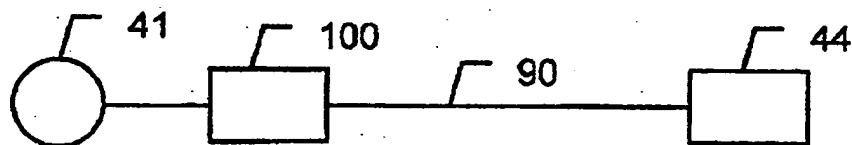
- 5 In un suo primo aspetto la presente invenzione si riferisce a un metodo per l'installazione in un sistema di trasmissione di energia elettrica di un collegamento con cavo superconduttore coassiale comprendente le seguenti fasi:
- determinare la reattanza di un cavo convenzionale adatto per detto
  - 10 collegamento;
  - installare il cavo superconduttore coassiale;
  - aumentare la reattanza del cavo superconduttore coassiale, in modo che la reattanza del cavo superconduttore sia sostanzialmente pari alla reattanza del cavo convenzionale.
- 15 In particolare, la fase di aumentare la reattanza del cavo superconduttore coassiale comprende la fase di inserire in serie al cavo superconduttore coassiale un elemento induttivo, preferibilmente di materiale superconduttore.



**Fig. 1**



**Fig. 3**



**Fig. 5**

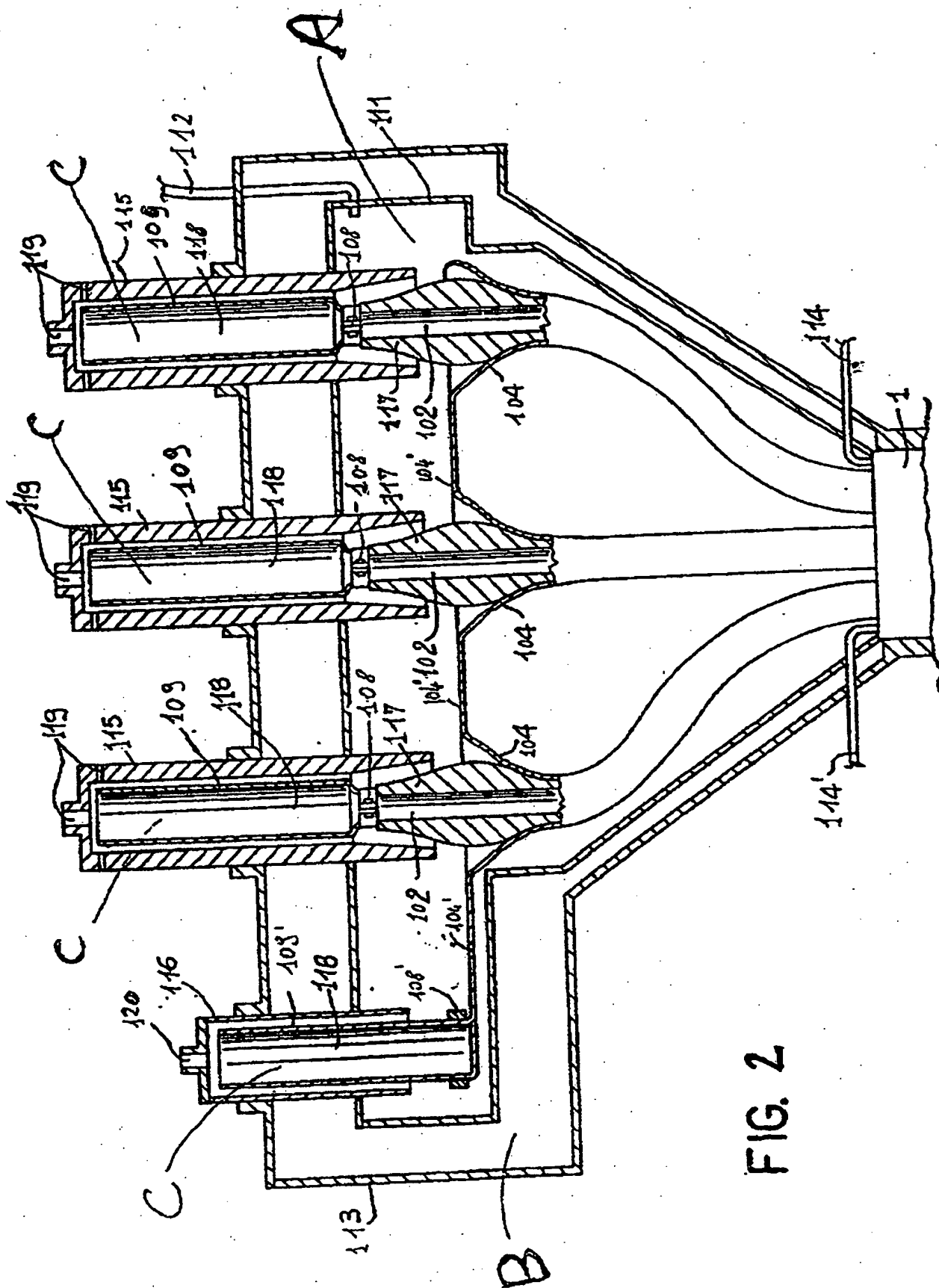


FIG. 2



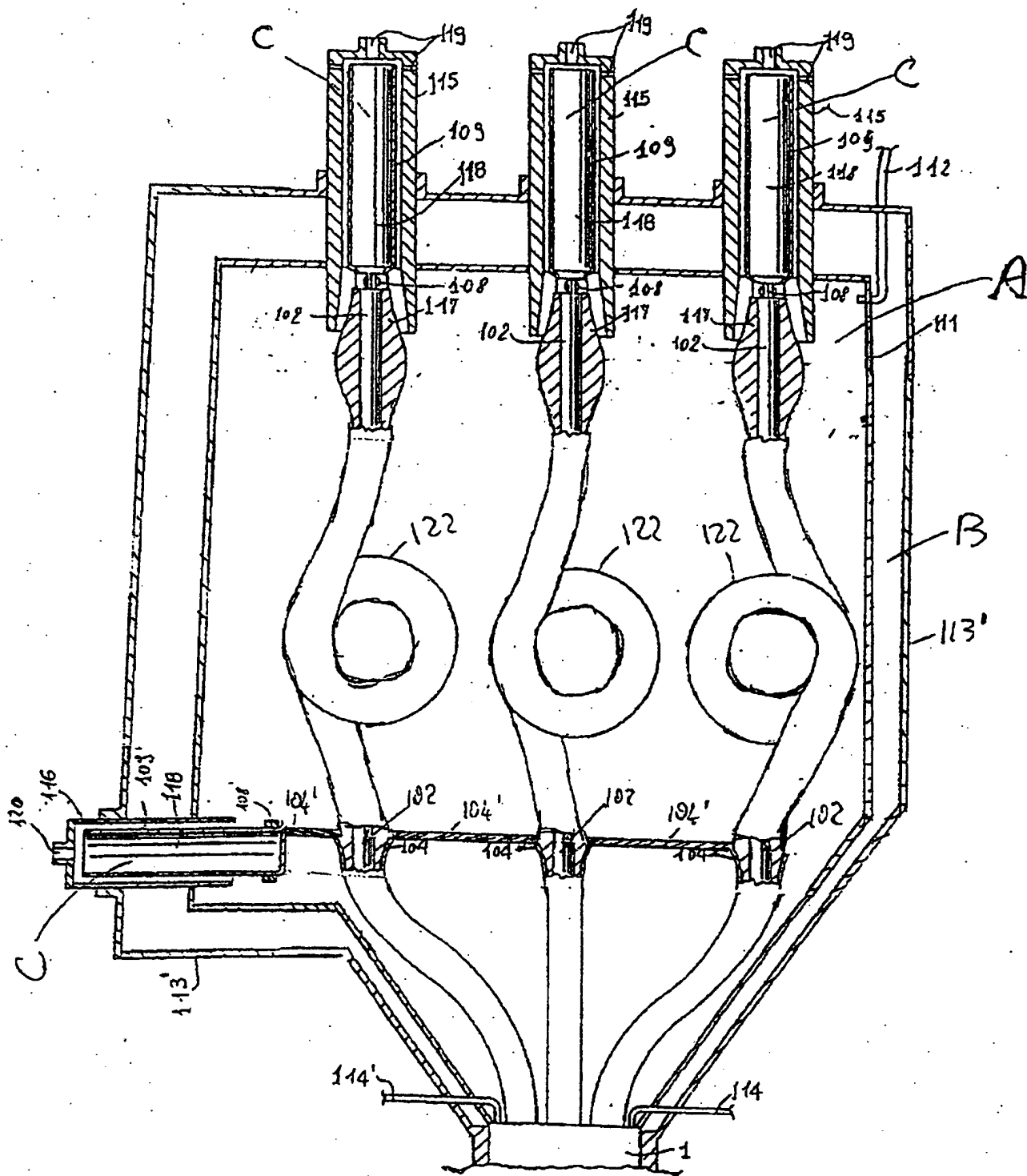


Fig. 4